

# 윤하중 피로실험을 통한 FRP-콘크리트 합성바닥판의 구조 거동 분석

## Structural Behavior of FRP-Concrete Composite Bridge Deck for Rolling Fatigue

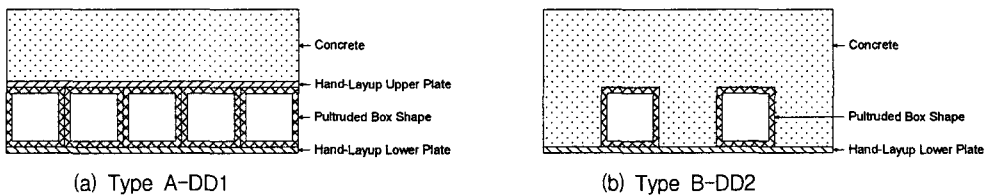
김성태      조근희      진원종      조정래      김병석  
 Kim, Sung Tae   Cho, Keunhee   Chin, Won Jong   Cho, Jeong Rae   Kim, Byung Suk

### ABSTRACT

Bridge deck is the element presenting the largest damage potentiality among the major bridge structural members. In the previous study, a new-type of FRP-concrete composite bridge deck system was proposed and its static performance was experimentally verified, This study aim at investigation of fatigue behavior such as failure mechanism through rolling fatigue test.

### 1. 서론

교량 바닥판은 차량하중을 직접 받는 부재로서 동결/융해 및 습윤/건조를 반복하고, 염화칼슘과 같은 열화 및 부식 촉진 재료와 접촉하므로 주요 구조 부재 중 손상이 가장 많이 발생하는 요소이다. 국내교량바닥판의 평균수명은 13년 정도로서 일반적인 교량의 평균수명인 50년에 비해 공용수명이 매우 짧은 편이다. 또한 국내의 경우에는 중차량의 통행이 빈번하여 활하중에 의한 바닥판 피로손상도 매우 심각하다. 외국의 활발한 바닥판 연구에 반해 국내에서의 바닥판 관련 연구는 매우 부족한 실정이다. 복합재료는 강재와 달리 부식되지 않는 재료로서 부식문제를 근본적으로 해결할 수 있는 장점을 지닌다. 본 연구에서 개발하는 FRP-콘크리트 합성 바닥판은 <그림 1>과 같이 FRP 부재를 인장부에, 콘크리트를 압축부에 위치시켜 FRP와 콘크리트 재료의 장점을 충분히 이용하는 신개념 바닥판이다.



<그림 1> FRP-콘크리트 합성 바닥판의 기본적인 단면 형상

Type A의 단면을 구성하는 하부의 FRP 상자형 조합 부재는 인발(Pultrusion)에 의해 제작된 GFRP 박스 부재와 수적층(Hand-Layup) GFRP판을 샌드위치형으로 구성하였다. 이러한 샌드위치형 단면 형

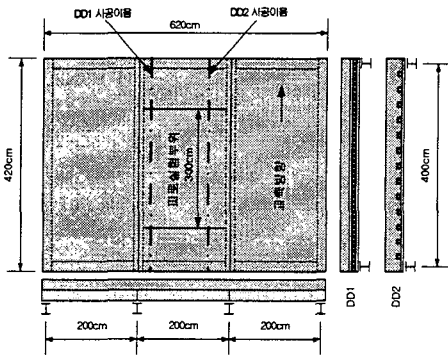
\*한국건설기술연구원 구조연구부 연구원  
 \*\*한국건설기술연구원 구조연구부 연구원  
 \*\*\*한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원  
 \*\*\*\*한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원 · 공학박사  
 \*\*\*\*\*한국건설기술연구원 구조연구부 구조연구부장 · 연구위원 · 공학박사

태는 FRP 부재간의 일체성을 향상시키고, 교축 방향으로의 하중 분배를 원활히 하여 재하부의 하중 집중 현상을 해소하기 위함이다.

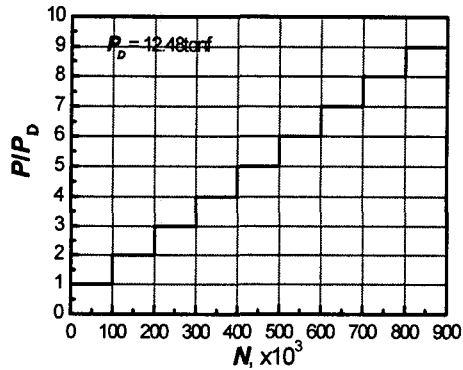
이러한 새로운 형태의 바닥판 시스템이 실용화되기 위해서는 정적 성능 및 피로 성능을 고찰할 필요성이 있으며, 이미 정적 성능에 대해서는 실험 연구를 통하여 적절성을 확인한 바 있다. 이 연구에서는 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 피로 수명 평가를 위한 기초 연구 단계로서 피로 수명에 영향을 미치는 주요 원인과 파괴 메커니즘을 고찰하고자 한다. 여기에서 얻은 결과는 새로운 바닥판의 피로 성능 향상을 위한 설계 개선에 활용할 예정이다.

## 2. 실험 개요

바닥판의 피로 수명을 평가하는 방법으로는 고정 반복하중을 재하하는 방법과 이동 반복하중을 재하하는 운하중 실험 방법이 있다. 이 연구에서는 실제와 더 근접한 결과를 보이는 운하중 실험 방법을 무강재 바닥판의 피로 수명 평가 방법으로 선정하였다. FRP-콘크리트 합성바닥판은 RC 바닥판과는 달리 하면에 FRP 부재가 위치하기 때문에 콘크리트 하면의 균열 발생이 억제되는 장점이 있는 반면 콘크리트의 두께가 얇기 때문에 전단강도가 작은 단점 또한 가진다. 그리고 FRP와 콘크리트 사이의 전단연결을 위한 규사 코팅의 피로 파괴 또한 바닥판의 수명에 영향을 미치는 중요한 인자가 된다.



<그림 2> 피로 성능 평가 실험체의 형상

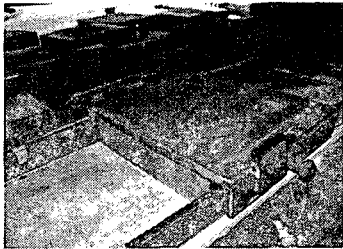


<그림 3> 운하중 피로 실험의 하중 재하 방법

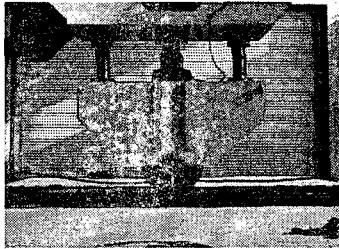
<그림 2>는 피로 성능 평가를 위한 실험체 형상을 보인 것으로서 3경간 연속 바닥판에서 중앙 경간에 운하중을 재하하였으며, DD1, DD2 각각의 실험체는 그림에서와 같이 시공이음이 존재한다. 운하중 실험에 적용하는 하중 수준은 바닥판의 파괴 메커니즘을 토대로 산정된 정적 내하력을 기준으로 결정되어야 하며, 실험체의 정적내하력은 각각 91.83tonf (DD1-초기 타설 콘크리트부), 73.04tonf (DD2-보수 타설 콘크리트부)으로 충격을 고려한 DB-24 후륜 하중의 약 7.4배, 5.9배 정도이다. 재하하중은 일정한 하중을 지속적으로 재하하거나 하중을 점증적으로 증가시키면서 계단상태로 하중을 재하하는 방식이 있으며, 이 연구에서는 <그림 3>과 같이 반복재하회수가 증가함에 따라 계단 형태로 증가된 하중을 적용하도록 한다. 계단 형태의 하중 재하는 큰 피로내구성을 갖는 바닥판에서 촉진시험을 실시하거나, 피로내구성을 비교하는데 주로 이용되고 있다. 여기서,  $P_D$ 는 설계하중으로서 DB-24 후륜하중에 해당한다. 이와 같은 실험은 하중 수준에 따른 반복재하회수를 알 수 없는 현 상황에서 피로 파괴메카니즘을 규명하기 위한 적절한 방법이다.

### 3. 실험방법

바닥판에 대한 이동 하중의 재하는 교축 직각 방향에 대해 차륜 폭을 모사한 철륵을 통하여 재하하게 된다. 이때 콘크리트 표면에 철륵을 직접 접촉하여 재하하는 경우에는 평탄성이 균질하지 않은 콘크리트 표면에 대해 부분적으로 집중 하중을 재하할 수 있고, 높이가 다른 부분을 통과하게 될 경우에는 충격 하중이 가해질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 차륜 크기를 고려하여 <그림 4>와 같이 윤하중 재하 궤도를 제작하여 피로 실험을 수행하였다. DB 하중에 대한 표준트럭의 경우 후륜은 2개의 타이어로 구성되어 있으므로 이를 모사하기 위하여 중앙에 절단부를 두었으며 전체 크기는 DB-24 후륜의 접지면 크기(580mm×230mm)가 되도록 하였다.



(a) 윤하중 재하 궤도



(b) 윤하중 재하 모습

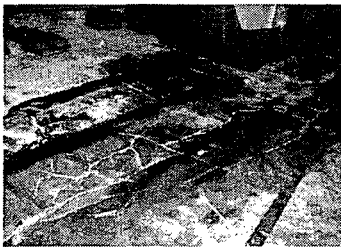


(c) 윤하중 피로 실험 모습

<그림 4> 윤하중 피로 실험

### 4. 실험결과

두 실험체 모두 상부 콘크리트가 파괴를 일으켰으나 하부의 FRP는 손상되지 않아 추후 바닥판을 보수할 시에 재사용이 가능함을 확인하였다(<그림 5> 참조).



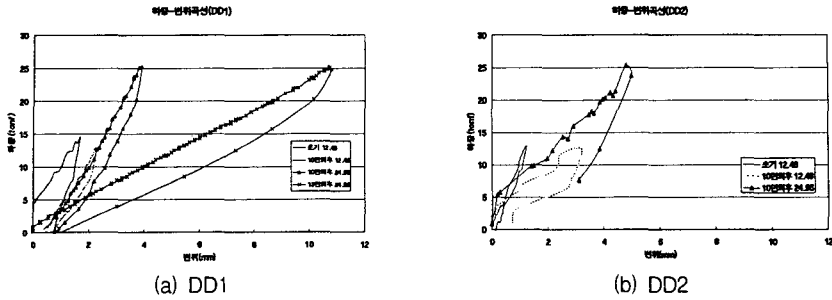
(a) DD1



(b) DD2

<그림 5> 파괴 양상

<그림 6>은 초기 재하와 이동하중이 재하된 후에 수행한 정적 실험 결과를 보인 것으로서 처짐이 점차적으로 증가하는 것을 볼 수 있었고, DD1과 DD2 두 실험체 모두 시공 이음부에서 초기 타설 콘크리트와 보수 타설 콘크리트 간의 분리가 확연히 나타났다. 또한 DD1의 경우 재하면 하부 콘크리트에 종방향 및 횡방향 균열들이 발생하였고, DD2의 경우는 재하면 하부 콘크리트가 함몰되어 파괴되는 모습을 보이고 있다. 이는 콘크리트와 하부 FRP 계면간이 탈락되어 무근 콘크리트 위에 이동하중을 재하한 것과 같은 파괴양상을 보인 것으로 판단된다.



<그림 6> 하중-변위 곡선

표 1. 재하하중단계에 따른 처짐 검토 (단위 : mm)

구분	초기재하(12.48)	10만회후(12.48)	10만회후(24.96)	파괴후(24.96)
DD1	1.41	2.18	3.89	10.80
DD2	1.15	3.19	4.79	-

## 5. 결론

본 연구는 FRP-콘크리트 합성바닥판에 대해 윤하중 피로실험을 수행하였으며, 이동하중 단계를 높여가면서 처짐 및 파괴양상을 고찰하였고 이에 대한 결론은 아래와 같다.

1. 초기 타설 콘크리트부에 이동하중을 재하한 DD1과 보수 타설 콘크리트부에 이동하중을 재하한 DD2 두 실험체 모두 설계하중을 2배인 24,96tonf로 증가시켰을 때 파괴가 일어났다.
2. DD1의 경우 재하면 하부 콘크리트에 종방향 및 횡방향 균열이 발생하였으며, 하중을 증가시키기 전의 정적재하에 의한 처짐보다 277%의 증가를 보였다. 또한 DD2의 경우는 상부콘크리트와 하부 FRP간 계면의 탈락으로 인한 재하면 하부 콘크리트의 함몰파괴 양상을 보였다.
3. DD1, DD2 실험체 모두 이동하중 재하면과 같은 시간 내에 시공이음부 있음으로 인해 파괴시 시공 이음부에서 초기 타설 콘크리트와 보수 타설 콘크리트 간의 확연한 분리가 나타났다. 이와 같은 파괴 양상을 볼 때 시공 이음부 및 부모멘트가 발생할 수 있는 부위에 무근 콘크리트가 아닌 보강근을 배근하여 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 구조 성능을 향상시켜야 할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. 조근희, 진원중, 김성태, 조정래, 김병석(2004) "신개념 FRP·콘크리트 합성 바닥판의 거동 특성 고찰" 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp. 400-405.
2. 조근희, 신동구, 김병석, 조정래, 진원중(2003) "FRP·콘크리트 합성 바닥판의 설계" 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 359-364.
3. ACI Committee 440 (2000) "Guide for the Design and Construction of Concrete reinforced with FRP Bars," American Concrete Institute, Farmington Hills
4. Machida, A. (1997) "Issues in Developing a Design Code for Concrete Structures with FRP," Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Proceedings of the third International Symposium, Vol. 1, October, pp. 129-140.